

Macon Oy

Digitalisaation mahdollisuudet kiertotaloudessa

Kuusamon Kiertotalous 2030: Työpaketti 3 tehtävä 1



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

Sisältö

Jätehuollon digitaalisten ratkaisujen kartoitus	2
1. Kuluttajille laaja valikoima mobiilisovelluksia	3
1.1 Kierrätyssovellukset: apua & palkitsemista lajitteluun	3
1.2 Myyntialustat: materiaalit & tavarat kiertoön	4
1.3 Ruokahävikin verkkokaupat	4
2. Yritysten asiakassovellukset & materiaalien myyntialustat.....	5
2.1 Materiaalin myyntialustat.....	5
3. Älykkään jätehuollon ratkaisut jätealan toimijoille	6
3.1 Kaluston & omaisuudenhallinta	6
3.2 Logistiikan & työkulkujen optimointi.....	7
3.3 Asiakaspalvelun laadun parantaminen	9
4. Smart cities & kaupunkitason ratkaisut	10
5. Yhteenveto digitaalisista ratkaisuista	13
6. Mitä ratkaisuita soveltaa Kuusamossa.....	14

Jätehierarkia



Kuvalähde: Lakeuden Etappi

Jätehuollon digitaalisten ratkaisujen kartoitus

Tähän kartoitukseen on valikoitu digitaalisia ratkaisuja, jotka voisivat soveltua Kuusamon alueelle. Tarkastelussa ovat mukana asukkaille ja kuluttajille suunnattuja sovelluksia, jäteyrityksille kehitettyjä palveluja sekä kaupunkitason ratkaisuja.

Siirtymä kiertotalouteen muuttaa lähitulevaisuudessa yhteiskuntaa monella eri tasolla. Jätehuoltosektorin osalta tämä tarkoittaa mm jätehuollon roolin kehittymistä jätteenkäsittelystä materiaalinhallintaan samalla, kun materiaalitavoitteiden painopiste siirtyy jätteiden painosta kerättävän materiaalin laatuun (1).

Digitaaliset ratkaisut ja niiden käyttöönotto ovat oleellinen osa kiertotaloussiirtymää. Digitalisaation nykyisiä ja tulevia sovelluksia jätehuollon kentällä ovat erilaiset IoT-tekniologiaa ja pilvipalveluja yhdistävät järjestelmät, etäseuranta ja -hallinta, koneäly ja algoritmit, data-analytiikka ja -palvelut, robotiikka ja automaatio sekä itseohjautuvat ajoneuvot ja dronet.

	Robotics	Artificial intelligence and neural networks	Internet of things	Cloud computing	Data analytics
PROCESS	Advancements in the pneumatic sorting process as a result of automation technology allow producing defined waste streams of high purity (over 90 %).	Machine learning — using neural networks based on the use of data or examples to solve problems without explicit programming — is used for classification and pattern recognition in the waste management context, improving the efficiency of sorting.	As more and more devices are connected to the internet or other networks, sensor-supported containers can collect data and transfer it to central units.	Storing and processing of sensor data and cloud based software solutions make it easy to optimise workflows and document failure to collect, failure in sorting or detect waste bins that are not paid for.	Processing and analysing data plays an important role in the recycling industry in order to identify patterns, extract information, discover trends or calibrate models. This knowledge is important in order to evaluate different options for the transition to a recycling economy.
EXAMPLES	<ul style="list-style-type: none"> - Robots that are able to identify and sort recyclables and critical materials through image recognition/IR scanning/ AI vision systems when dismantling used phones/electronics 	<ul style="list-style-type: none"> - Autonomous, self-driving street sweepers, refuse trucks 	<ul style="list-style-type: none"> - Smart waste bins with identification systems, weighing systems, level sensors, temperature sensors, software for optimising logistics 	Cloud based software for: <ul style="list-style-type: none"> - Connection, standardising and optimising internal procedures - Real-time order management, route planning and optimisation, customer self-service, order-tracking and evaluation 	<ul style="list-style-type: none"> - Electronically supported disposition of waste collection vehicles - Evaluation of sensor data for automated sorting plants - Control of waste incineration plants - Drone based data collection on landfills

Kuvalähde: European Environment Agency.

Älykkäiden järjestelmien avulla voidaan nostaa tehokkuutta jätehuollon toimintojen ja arvoketjujen eri vaiheissa sekä parantaa palvelun laatua. Digitaalisia ratkaisuita on kehitetty

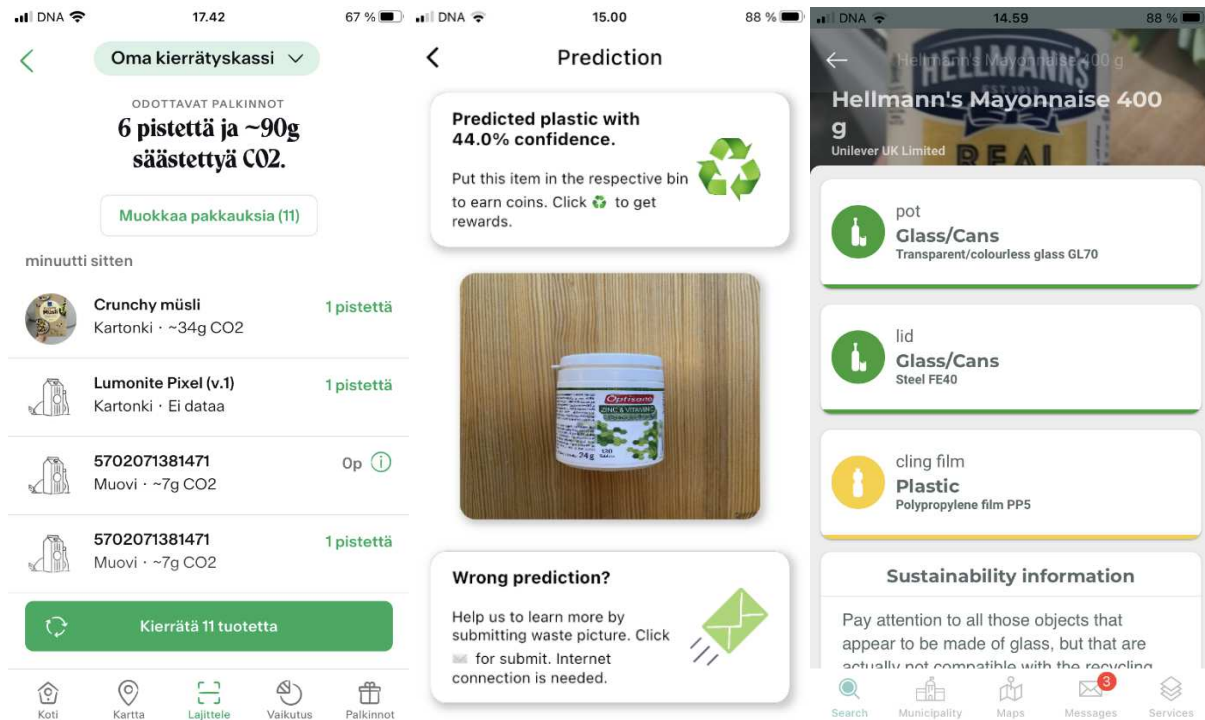
jätehierarkian jokaiselle tasolle ja niillä pyritään mm. parantamaan jätteiden keräyksen tehokkuutta, nostamaan kierrätysasetta, parantamaan kerättävän materiaalin laatua, tehostamaan kuluttajaviestintää ja vähentämään syntyvän jätteen määrää.

1. Kuluttajille laaja valikoima mobiilisovelluksia

1.1 Kierrätyssovellukset: apua & palkitsemista lajitteluun

Kuluttajille suunnattuja ja kierrättämisessä avustavia appeja on markkinoilla useita. Pakkausten viivakoodeja hyödyntävä ruotsalainen Bower-app palkitsee kuluttajan rahallisesti, kun tämä kierrättää tuotepakkauksen (2). Palvelu ilmoittaa myös kierrättämällä säästetyn CO₂-päästön määrän. Bower on saatavilla myös Suomessa. Sen taustalla on Ruotsin pakkauskierrätys FTI. Italiassa ja Sveitsissä on käytössä vastaavaa teknologiaa hyödyntävä Junker-appi. Se ei palkitse käyttäjiään, mutta kertoo tarkemmin, minkälaista materiaalia pakkauksessa on käytetty ja miten sen voi kierrättää.

Kierrätettävä materiaali voidaan myös tunnistaa äänen tai konenäön avulla. Nepalilainen Deep waste ai tunnistaa konenäön avulla kierrätettävää materiaalia (3). Appi antaa ehdotuksen kuvan esittämästä materiaalista sekä todennäköisyysprosentin tunnistamiselle. Käyttäjä voi hyväksyä tai hylätä apin ehdotuksen, sekä ansaita pisteitä kuvien ottamisella. Pisteet voidaan hyödyntää yrityksen nettikaupassa. Australialainen Lockwaste on puolestaan kehittänyt ääneen perustuvan sovelluksen. Appi tunnistaa mm. eri muovilajit perustuen ääneen, joka lähtee materiaalin rapistelusta (sovellusta ei vielä julkaistu).



Näkymät kierrätysapeista: oikealta Bower, Junker ja Deep waste ai.

1.2 Myyntialustat: materiaalit & tavarat kiertoon

Jätehierarkiassa materiaalin uudelleenkäyttö ja uusiokäyttö ovat ympäristön ja kiertotalouden kannalta suotavampia kuin sen hyödyntäminen energiana. Markkinoilta löytyykin useita eri vertaiskaupan digitaalisia alustoja, joiden kautta voidaan ostaa ja myydä käytettyjä tavaroita tai kierrätysmateriaalia. Kuluttajille on suunnattu joitakin materiaalin myyntialustoja. Yksi niistä on Suomessa toimiva Canit, jonka avulla käyttäjät voivat myydä tai ostaa pantillisia pulloja ja tölkkejä (4).

Tavaroiden vertaiskaupalle on lukuisia alustoja riippuen myytävästä tavarasta. Tori.fi on yleisalusta, jossa myydään niin autoja, asuntoja kuin vaatteita ja suksia. Toriin jätettiin vuonna 2020 yhteensä yli 13,7 miljoonaa ilmoitusta ja ilmoittajat tienasivat Torin kautta vuonna 2020 yhteensä 729 miljoonaa euroa (5). Muita suosittuja käytetyn tavarahan digialustoja on sosiaalinen media, erityisesti Facebookin erilaiset kirpputoriryhmät ja kaupunkien asuinalueiden omat kierrätysryhmät. Suhdanteet, inflaatio ja ympäristöarvojen korostuminen ovat kasvattaneet erityisesti nuorten sukupolvien kiinnostusta kierrätettyyn muotiin. Zadaa ja Tise -sovellukset ovat lisänneet suosiotaan, kun kysyntä käytetyille muotivaatteille on kasvanut. Myös käytetyille ajoneuvoille on useita mobiilisovelluksia, kuten Nettiauto ja Nettimoto sekä veneille Nettivene.

1.3 Ruokahävikin verkkokaupat

Elintarvikkeet ja ruoka tarjoavat hyvät mahdollisuudet ehkäistä jätteen syntyä. Luonnonvarakeskuksen mukaan vuonna 2021 kauppa ja ravitsemispalvelut tuottivat yhteensä 118 miljoonaa kiloa ruokahävikkiä (33 % hävikin kokonaismäärästä). LUKE:n mukaan vuonna 2021 kaupan sektorin hävikistä noin 25 % meni ruoka-apuun tai lahjoitukseen ja loput 75 % jätteeksi (6). Varsinkin kotitalouksien ruokahävikkiä (107–137 miljoonaa kiloa) pyritään suitsimaan kampanjoilla ja tiedottamisella, mutta kaupan ja ravitsemusalan hävikki on synnyttänyt myös uutta liiketoimintaa.

Fiksu Ruoka myy verkkokaupassaan ja sovelluksessaan pääosin elintarvikkeiden jäännös- ja poistoeriä, jotka ovat muutoin vaarassa joutua hävikiksi. 2019 perustettu yritys kertoo vähentäneensä 11 miljoonaa kiloa ruokahävikkiä (7). Ravitsemuspalveluiden hävikkiä hyödyntää myös 2019 perustettu ResQ Club yritys, jonka sovelluksen kautta mm. ravintola- ja leipomoyrittäjät voivat myydä kuluttajille tuotteitaan, jotka muuten menisivät hävikkiin. Molemmat sovellukset pystyvät ohjaamaan hävikkiä energiahyödyntämisen sijaan takaisin ruuaksi, mikä osaltaan vähentää syntyvän jätteen määrää.

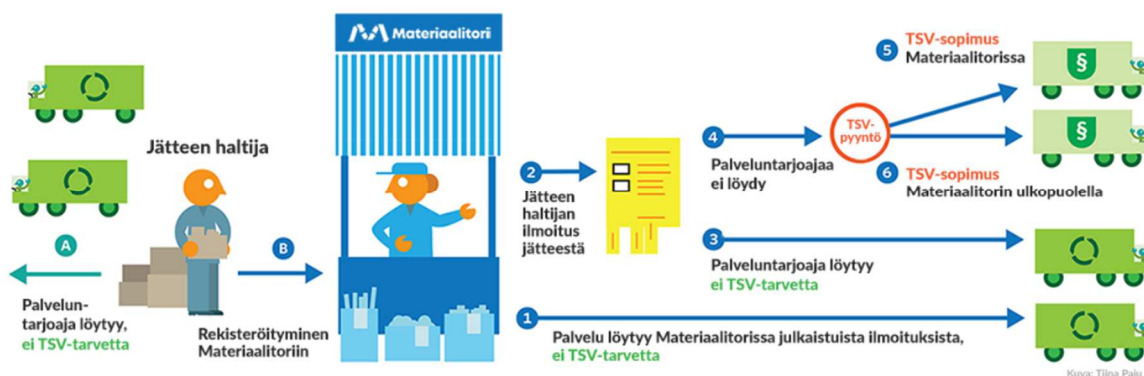
2. Yritysten asiakassovellukset & materiaalien myyntialustat

Yrityksille on suunnattu monipuolisesti digitaalisia palveluita. Palvelut voivat olla toiminnallisia kuten Lassila & Tikanojan rakennustyömaille tarjoama Raksanappi, jonka avulla voidaan tilata jäteastioiden tuonnit, tyhjennykset, siirrot ja noudot sekä seurata tilausten etenemistä (12). Uusi jätelaki on kiristänyt yritysten jätteisiin liittyvää kirjanpitoa ja raportointia. Stena recycling ja Lassila & Tikanoja tarjoavatkin yritysasiakkailleen jäteraportoinnin ilmaiseksi. Oma L&T -asiointipalvelussa yritysasiakas voi seurata jätemääriään, muuttaa tyhjennysrytmejään ja hoitaa muita asiakkuuteensa liittyviä asioita.

2.1 Materiaalin myyntialustat

Maailmalla on käytössä useita digitaalisia materiaalin myyntialustoja mm. tsekkiläinen Cyrkl, tanskalainen Waste outlet ja australialainen Aspire (9). Motiva lanseerasi keväällä 2019 Materiaalitorin, joka on tarkoitettu yritysten ja organisaatioiden jätteiden ja tuotannon sivuvirtojen ammattimaiseen vaihdantaan. Palvelu on käyttäjilleen ilmainen. Materiaalitorissa voi myös etsiä ja tarjota näihin liittyviä palveluja, kuten jätehuolto- tai asiantuntijapalveluja (10). Alustan keskeinen tavoite on edistää jätteiden ja sivuvirtojen hyötykäyttöä ja kiertotaloutta tarjoamalla kohtaamispaikka, jossa kierrätysmateriaalien tarjoajat ja tarvitsijat voivat löytää toisensa. Materiaalitorin avulla pyritään keräämään Suomessa syntyvät materiaalivirrat näkyvämmiksi yhteen paikkaan, jotta niiden ympärille syntyisi uusia hyödyntämistapoja ja materiaalit päätyisivät yhä enemmän hyötykäyttöön.

Alustan käyttö on velvoittavaa jätteen haltijoille, jotka tarvitsevat kunnan toissijaista jätehuoltopalvelua vuodessa vähintään 2000 euron arvosta, mikä on johtanut välillä näennäisiin ilmoituksiin, joiden ainoa tavoite on lähettää TSV-pyyntö kunnalliselle jätehuoltopalvelulle 14 vuorokauden ilmoituspakon jälkeen (11). Materiaalitoria on tarkoitus kehittää 2024 mennessä ja kytkeä se muihin mahdollisiin kiertotalouden alustaratkaisuihin (12).



Kuvalähde: Materiaalitori

3. Älykkään jätehuollon ratkaisut jätealan toimijoille

Jätehuollon toimijoille ja jätteenkeräystä organisoiville yrityksille on kehitetty useita digitaalisia ratkaisuita. Tässä kartoituksessa emme syvenny kierrätyslaitosten robotti- ja automaatiojärjestelmiin, vaan käymme läpi jätteenkeräykseen liittyviä ratkaisuita:

1. kaluston ja omaisuudenhallintaan,
2. logistiikan ja työnkulkujen optimointiin sekä
3. asiakaspalveluun ja kuluttajaviestintään

Ne kaikki perustuvat kokonaisuuden hallintaan ja tiedon vaivattomaan siirtoon järjestelmästä toiseen, jotta automatisointi ja optimointi ovat mahdollisia. Osa toimijoista tarjoaa kattavaa kokonaisratkaisua, joka sisältää mm. automatisoidut työnkulut, reittioptimoinnin täyttöasteen mukaan, kaluston ja omaisuudenhallinnan sekä erilaiset mobiiliapit kuluttajille ja kuljettajille.

Data-analytiikka on olennainen osa ohjelmistoja. Eri järjestelmistä ja laitteista tulevaa tietoa voidaan integroida pääjärjestelmään API-rajapintojen avulla ja järjestelmät ovat usein modulaarisia. Järjestelmän avoimuus riippuu palvelua tarjoavasta yrityksestä ja sen bisnesmallista, mutta usein API-integraatio onnistuu vähintään yksisuuntaisena. Osa toimijoista on tehnyt liitettävyydestä kilpailuedun ja tehnyt järjestelmistään laiteagnostisia: niihin voidaan tuoda tietoa mistä tahansa IoT-, RFID- tai punnituslaitteesta.

Älykkäät järjestelmän mahdollistavat myös joustavamman hinnoittelun, jonka avulla asukkaita voidaan ohjata aktiivisempaan lajitteluun. Tutkimusten mukaan palautteenanto on yksinkertainen, mutta tehokas keino vaikuttaa ihmisten käyttäytymiseen. Esimerkiksi Suomessa asuntokohtaiset vesimittarit vähensivät todistetusti veden kulutusta jopa 40 %. Suomen pullopanttijärjestelmä on johtanut erittäin korkeisiin palautusasteisiin. Nämä esimerkit osoittavat, että esimerkiksi painoon perustuva Pay-as-you-throw malli voisi tuottaa lupaavia tuloksia Suomessa, varsinkin, kun sen tehokkuus on jo osoitettu monissa Euroopan maissa (13).

3.1 Kaluston & omaisuudenhallinta

Kalustonhallintaa varten useat jätelogistiikan ohjelmistot hyödyntävät GPS-paikantimia jätekuljetusautoissa. Paikantimiin voidaan liittää myös muita laitteita, kuten värinäantureita, jolloin voidaan aikatauluttaa kaluston huolto ja saadaan tietoa mm. ajoneuvon tyhjäkäyntiajoista ja liikennekäyttäytymisestä.

Jäteastioiden hallinnan tekee helpommaksi radiotaajuinen etätunnistus eli RFID-teknologia (Radio Frequency Identification). Järjestelmässä astiaan kiinnitetty passiivinen RFID-tagii toimii parina tyhjennysautoon kiinnitetyn RFID-lukijan kanssa. Järjestelmän avulla jokainen

astia paikannetaan ja sen tyhjennystiedot siirtyvät automaattisesti pilvipalveluun. Järjestelmän avulla voidaan varmistaa astian tyhjennys ja seurata astioiden elinkaarta. Euroopassa astian tunnistusjärjestelmään on usein yhdistetty jäteauton punnitusominaisuus: näin voidaan laskea astiakohtaiset jätekertymät ja laskuttaa asiakasta tuotetun jätteen mukaan. Punnitus- ja RFID-yhdistelmäjärjestelmiä tarjoavat mm. ruotsalainen Botek ja tamperelainen Tamtron. Jätteenkeräyksen punnitusjärjestelmää testaavat syksyn 2023 aikana Pirkanmaan jätehuolto (14) sekä Kiertokaari.



Kuvälähde: Semantic Scholar

3.2 Logistiikan & työnkulkujen optimointi

Älykkäillä jäteastioilla tehokkuutta logistiikkaan

Älykkäiden jäteastioiden avulla pyritään tehostamaan astian volyymin käyttöä esimerkiksi optimoidulla tyhjennysrytmillä tai jätteen tiivistämisellä, kuten Finbinin pakkaavassa Citysolar jäteastiassa (15). Puistoihin tai julkisiin ulkotiloihin sopiva 240-litran astia voi pakata määrän, joka vastaa kahtakymmentä 60-litran katuastiaa. Sen lisäksi astia ilmoittaa jätehuoltoyhtiölle, kun se on täynnä.

Älyastioiden tyhjennyksen optimointi voi perustua, joko reaaliaikaisesti pinnanmittausdataan tai punnitustietojen perusteella laskettuun täyttöaste-ennusteeseen. Laadukkaan ennusteen tekeminen vaatii usean kuukauden punnitustiedot. Älyastioissa myös sen käyttöoikeuksia voidaan rajata ja jakaa älylukon avulla. Kuluttajille on suunnattu mm. australialainen Lockwaste, jossa lukko toimii sovelluksen avulla (16).



Kuvalähde: EcoctrlGSM

Markkinoilla on myös tarjolla ratkaisuita, jotka yhdistävät käyttöoikeudet, asiakkaan identifiointi, PAYT-hinnoittelumallin ja täyttöasteeseen perustuvan tyhjennysoptimoinnin. Italialainen EcoCTRL GSM on kehittänyt Ecoisola-jätekonttiratkaisun, jonka avulla voidaan seurata yksittäisen käyttäjän tuottamaa jätemäärää (17). Ecoisolan käyttöoikeuksia voidaan helposti muuttaa ja jakaa: järjestelmä voi punnita jokaisen käyttäjän tuoman jätemäärän tai veloittaa käyttökerroista. Käyttöoikeudet voidaan linkittää esim Kela-korttiin tai henkilökohtaiseen QR-koodiin. Aurinkopaneelien ja maantieteellisen sijainnin ansiosta älyasiat toimivat Italiassa itsenäisesti ilman sähköliittymää. Järjestelmän avulla voidaan palkita ahkeria kierrättäjiä, jakaa alennuslahjakortteja tai hyödyntää käyttäjätietoja jätehuoltomaksun määräytymisessä. Italiassa on käytössä joustava jätemaksu, joka muodostuu perustaksasta ja käyttötaksasta, joka määräytyy asukkaan tuoman jätteen perusteella Pay-as-you-throw -mallin mukaisesti.

Jäteastia voi myös vastata materiaalin lajittelusta, kuten tekoälyä hyödyntävä Bin-e -astia, joka siirtää jätteen oikeaan lajittelulokeroon hyödyntäen konenäköä (18). Älyastia myös pakkaa muovi- ja paperijätteen sekä seuraa lokeroiden täyttöastetta pinnanmittausantureilla. Muita konenäköä hyödyntäviä astiatarjontia on jälkikäteen astiaan asennettava Nando, joka pikemminkin avustaa lajittelussa kuin suorittaa sen käyttäjän puolesta (19).

Ohjelmistojen automaatio- ja optimointiominaisuudet tehostavat resurssien käyttöä

Varsinaisen optimoinnin tekee laitedatan perusteella usein pilvipalveluita ja data-analytiikkaa hyödyntävät toiminnanohjaus- ja reitioptimointijärjestelmät. Tanskalainen WasteHero on kehittänyt jätehuollon kokonaisratkaisun, jonka avulla reitit voidaan optimoida esim pituuden,

tai täyttöasteen mukaan. WasteHeron toiminnanohjausjärjestelmä sisältää reittioptimoinnin lisäksi mm resurssihallinnan (kalusto, omaisuus ja henkilöstö), automatisoidut työnkulut, ja 24/7 asiakaspalveluapin. WasteHeron järjestelmä pyrkii tehokkuuteen automatisoitujen työnkulkujen ja käyttöystävällisyyden avulla: toimenpiteet, joiden toteuttaminen aiemmin vei 50 klikkausta, tehdään nyt 3–5 klikkauksella (20).

Suomessa jätehuollon yritysten käytetyimmät toiminnanohjausjärjestelmät ovat Vitecin Vingo ja Ecomondin TCS sekä reittioptimoinnin ja sähköisten siirtoasiakirjojen osalta Enprosin Zewrowaste. Ne kaikki tarjoavat algoritmeihin perustuvaa logistiikan suunnittelu- ja optimointipalveluja järjestelmissään ja ne voivat hyödyntää IoT-dataa API-rajapintojen avulla.

Oma lukunsa ovat kierrätys- ja jätteenpolttolaitokset, joissa on käytössä tekoälyä ja algoritmeja hyödyntävää automaatiota ja robotiikkaa mm lajittelussa ja logistiikassa. Niiden käsittely jää tästä kartoituksesta pois.

3.3 Asiakaspalvelun laadun parantaminen

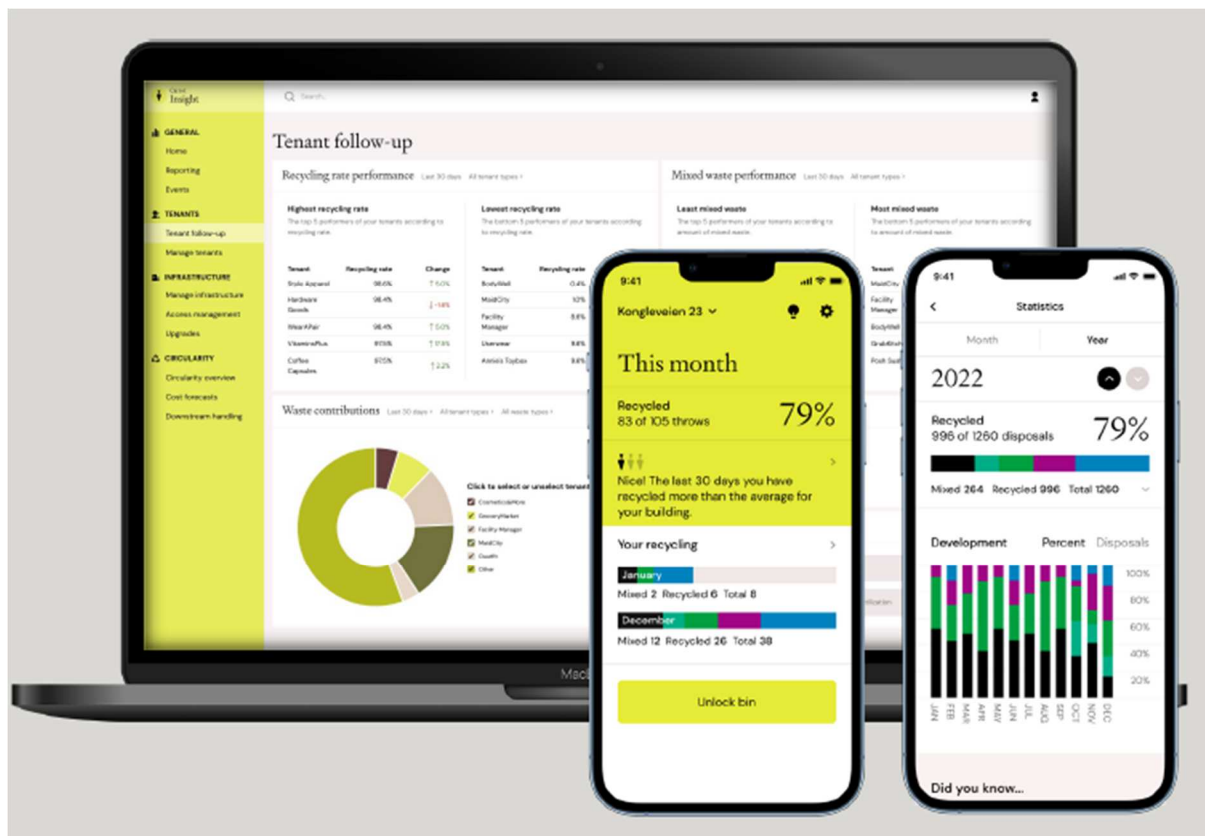
Jäteyhtiöt ovat kehittäneet omia mobiilisovelluksia osaksi asiakaspalveluaan. Näissä ratkaisuissa yhdistyy usein asiakkaan informointi alueen tai yrityksen jätepalveluasemista sekä mahdollisuus suorittaa jätemaksu tuotavasta jätteestä apin avulla. Lakeuden etapilla on käytössä Re-appi (21) itsepalveluasema Re-pisteellä asiointia varten ja Puhaksella on Puhas-app (22). Vestia on kehittänyt oman mallin etähallittavasta itsepalvelupisteestä: Vestian Lajittelupihassa (23) asiakas hoitaa jätemaksut asiakaspääteellä paikan päällä.

Maksuominaisuuden lisäksi apit ohjeistavat asiakkaita siitä, minne jätteet viedään kierrätyskeskuksessa sekä jakavat tietoa mm. aukioloajoista. Muita sähköisiä palveluita on mm. Suomen Kiertovoima Ry:n kierratys.info -verkkopalvelu (24), jolla voi etsiä kotitalouksien jätteille tarkoitettujen, alueellisten keräyspisteiden ja kiertävien keräysten tietoja kaikkialla Suomessa.

Euroopassa on käytössä myös kansalaisille suunnattuja sovelluksia jäteastioiden sijainnista kuten monipuolisia älykkään jätehuollon palveluja tarjoavan Sensoneon Smart Waste Monitoring -appi. Oulussa on käytössä Smart Waste Bin -appi, jolla asukas voi tyhjentää oman jäteastian tarvittaessa. Pientaloasukkaille suunnattu appi laskee myös arvion syntyneen jätteen määrästä. Asuntoyhtiöt voivat apin avulla myös haetuttaa puutarhajätelavan tai muuta lisäjätettä. Palvelua tarjoaa Haurun Jäteauto Oy.

4. Smart cities & kaupunkitason ratkaisut

Jätehuollossa kehitetään yhä enemmän käyttöön perustuvaa hinnoittelua ja osassa Euroopan maita se on jo kiinteä osa jätehuoltomaksujen määräytymistä. Jättemaksu voi perustua joko osittain tai kokonaan käyttöön tai tuotettuun jätemäärään. Italian lisäksi esimerkiksi Norjan toiseksi suurimmassa kaupungissa Bergenissä on käytössä kotitalouskohtainen jätehuoltomaksu. Kuntaomisteinen jäteyhtiö BIR on ottanut käyttöönsä RFID-tekniikan yhdistettynä pinnanmittaukseen ja Bergenissä on myös yksi maailman suurimmista jätteen putkikeräysjärjestelmistä. Järjestelmän toimitti ruotsalainen Envac, joka on osa Stena-konsernia (25). Eri laitteista ja järjestelmistä tuleva data yhdistyy hallittavaksi kokonaisuudeksi Carrot-datapalvelussa. Älykkäiden järjestelmien käyttöönotto ja käytön mukaan joustava jättemaksu vähensivät kaupungin sekajättemäärää 9 % ja kerätyn muovin määrä kasvoi 28 % (26).



Kuvalähde: Carrot

Suurissa kaupungeissa on alettu kehittää digitaalisia kaksosia kaupunkisuunnittelun tueksi. Digitaalinen kaksonen (Digital Twin) termiä käytetään yleensä sovelluksesta, joka pyrkii digitaalisesti kuvaamaan fyysistä maailmaa ja toimintaa, sekä luomaan siitä ennustuksia. Näissä sovelluksissa yleensä luodaan digitaalinen 3D-malli kohteesta, jota sitten ohjataan ja

rikastetaan reaali maailmasta kerätyllä tiedolla. Mallin avulla voidaan tehdä analyyseja ja simulaatioita erilaisista tilanteista.

Digitaalinen kaksonen vastaanottaa dataa eri lähteistä kuten ajoneuvoista, rakennuksista, infrastruktuurista (esim. sähkö- ja vesiverkosta) ja asukkaista. Tätä tietoa rikastetaan smart city – ja IoT-laitteiden datalla ja täydennetään tekoälyn (AI) ja kehittyneen analytiikan avulla. Teknologia yhdistää historiallisen, staattisen ja reaaliaikaisen datan ja antaa arvokasta tietoa kaupungin suorituskyvystä.

Digitaalinen kaksonen toimii eräänlaisena "strategian kiihdyttimenä" jonka avulla voidaan tehdä parempia ratkaisuita ja havaita tärkeitä yhteyksiä mallin osien ja datan välillä. Singaporessa, Sydneyssä ja Intian Amaravatissa käytetään jo digitaalista kaksosta älykkääseen kaupunkikehitykseen (27). Helsingistä, Tampereen Hervannasta ja Oulun satamasta on tehty digitaalisia kaksoskokeiluja kaupunkisuunnittelun avuksi (28). Hervannassa palvelua on käytetty automaattisen liikkumisen ratkaisujen testaamiseen ja kehittämiseen (29).



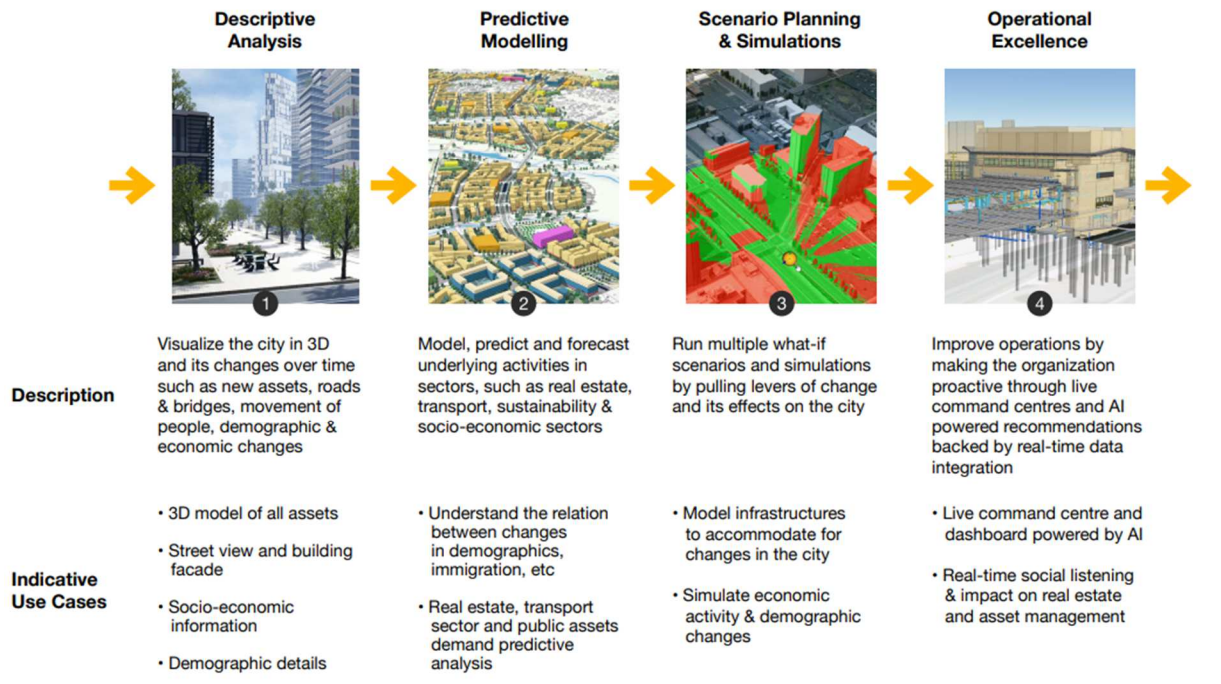
Digitaalisen kaksosen moniulotteisin taso on se, jossa kaikesta kerätystä datasta pyritään muodostamaan analyyseja ja tulevaisuuden ennusteita tilannekuvan rinnalle. Kun kaikki saatavissa oleva data esimerkiksi kaupungista ja sen rakennuksista, liikenteestä ja ihmisistä saadaan tuotua digitaaliseen kaksoseen, on mahdollista muodostaa analyyseja ja ennusteita myös tulevaisuudesta. Analyysia voidaan hyödyntää esimerkiksi tulevien rakennustarpeiden suunnitteluun tai sen avulla voidaan myös löytää esimerkiksi kaupungin hiilineutraaliustavoitteen kannalta kriittisimmät pisteet tutkimalla, miten eri datat käyttäytyvät ja korreloivat keskenään virtuaalisessa muodossa.

Kuvalähde: Sitowise

Digitaalisten kaksosten odotetaan myös muuttavan jätehuoltoa tulevaisuudessa. Jätehuollon digitaalisessa kaksosessa yhdistyvät mm. reaaliaikainen data kaluston kunnosta, astioiden sijainnista, määrästä ja täyttöasteesta, jätekertymistä, tyhjennysreittien tilanteesta ja henkilöstön sijainnista. Teknologia hyödyntää antureita ja analytiikkaa tietojen keräämiseen fyysisistä kohteista ja luo niistä tarkan digitaalisen mallin. Sitten tietoja käytetään simuloimaan, kuinka objekti toimisi eri olosuhteissa mahdollistaen ennakoivan analytiikan. Tämä voi olla erittäin hyödyllistä jätehuoltoalalle, koska sen avulla järjestelmiä voidaan seurata ja analysoida reaaliaikaisesti ja siten tunnistaa mahdolliset ongelmat ennen niiden ilmenemistä.

Digitaalinen kaksonen voi myös auttaa vähentämään jätettä ja nostamaan kierrätysastetta. Jätehuoltojärjestelmien toimivuutta seuraamalla ja kerättyä tietoa analysoimalla voidaan tunnistaa, missä kohdissa jätteiden keräystä ja käsittelyä voidaan edelleen tehostaa. Se puolestaan voi vähentää polttolaitokselle menevän jätteen määrää. Tarjoamalla järjestelmien reaaliaikaista seurantaa ja analysointia teknologia auttaa parantamaan tarkkuutta ja tehokkuutta, vähentämään jätettä ja lisäämään kierrätystä sekä alentamaan jätehuoltoon liittyviä kustannuksia. Kaksosteknologian odotetaan mullistavan jätehuollon kentän lähitulevaisuudessa (30).

Digital twin solutions go through various levels of maturity & adoption



Kuvalähde: PwC

5. Yhteenveto digitaalisista ratkaisuista

Alla olevaan taulukkoon on vedetty yhteen digitaalisten ratkaisuiden hyötyjä, vaikuttavuutta ja niiden käyttöönoton helppoutta. Ratkaisun sijoitus jätehierarkiassa on mainittu.

Ratkaisu	Jätehierarki- an taso	Hyöty	Toteutus-tapa	Vaiikut- tavuus	Käyttöön- oton vaikeus	Soveltu- vuus Kuusa- mo	Käytössä Suomessa
Bower	3. uusio- käyttö	parempi kierrätys- aste pakkaus- jätteelle	kuluttaja-appi	pieni	pieni	kyllä	kyllä
Canit	3. uusio- käyttö	parempi kierrätysas- te pantillisille tölkeille	kuluttaja-appi	pieni	pieni	kyllä	kyllä
Käytetyn tavaran ja vaattei- den myyntiso- vellukset	1. jätteen ehkäisy	tavaroiden ja vaatteiden käyttöikä pitenee	kuluttaja-appi ja nettisivut	keskisu- uri	pieni	kyllä	kyllä
Fiksu Ruoka	1. jätteen ehkäisy	vähemmän hävikkää	kuluttaja-appi	pieni	pieni	kyllä	kyllä
ResQ Club	1. jätteen ehkäisy	vähemmän hävikkää	kuluttaja-appi	pieni	pieni	kyllä	kyllä
Materiaali- tori	2 uudelleen- käyttö, 3 uusikäyttö	materiaali- ja sivuvirroille uusina hyödyntäjiä	myyntialusta yrityksille ja jätettä tuottaville organisaatioille	keski- suuri	pieni	kyllä	kyllä
RFID- järjestelm- ä	3 uusiokäyttö 4 energia- hyödyntämine n	palvelun laadun seuranta ja astioiden elinkaari	astiatagit, lukija ja ohjelmisto, vaatii keskitetyn toimijan	pieni	keskisuuri	kyllä	kyllä
punnitsev- a jäteauto	3 uusiokäyttö 4 energia- hyödyntämine n	PAYT- mallin mahdollista ja, parempi kierrätys- aste	autoon asennettu laitteisto ja ohjelmisto, vaatii keskitetyn toimijan	keski- suuri	keskisuuri	kyllä	kyllä
Citysolar	3 uusiokäyttö 4 energia- hyödyntämine n	vähemmän tyhjennyksi- ä optimoitu logistiikka	pakkaava älyastia, vaatii keskitetyn toimijan	pieni	keskisuuri	kyllä	kyllä
IoT-anturit	3 uusiokäyttö 4 energia- hyödyntämine n	optimoitu logistiikka	anturit ja ohjelmisto, vaatii keskitetyn toimijan	keski- suuri	keskisuuri	kyllä	kyllä esim Oulussa
Ecoisola	3 uusiokäyttö 4 energia- hyödyntämine n	PAYT- mallin mahdollista ja, optimoitu logistiikka		pieni	keskisuuri	kyllä	ei

Ratkaisu	Jätehierarki- an taso	Hyöty	Toteutus-tapa	Vaikut- tavuus	Käyttöön- oton vaikeus	Soveltu- vuus Kuusa- mo	Käytössä Suomessa
Älykäs reitti-opti- mointi – ja ERP ohjel- mistot	3 uusiokäyttö 4 energia- hyödyntämi- nen	optimoitu logistiikka ja työnkulut, tehokkaam- pi toiminta	laaja ohjelmisto, keskitetyn toimijan	suuri	suuri	kyllä	kyllä
Digitaa- liset kaksoset	1. jätteen ehkäisy 2 uudelleen- käyttö, 3 uusiokäyttö 4 energia- hyödyntämi- nen	Suunnitte- lussa voidaan huomioida jätteen syntymisen minimointi sekä monenlai- nen optimointi	Teknologia ei vielä käytössä jätehuollon osalta, vaatii keskitetyn toimijan ja monta datalähdettä sekä toimijaa	suuri	suuri	ei	ei

6. Mitä ratkaisuita soveltaa Kuusamossa

Osa yllä esitetyistä ratkaisuista soveltuu testaukseen pienilläkin resursseilla. Kuluttajille suunnatut mobiilisovellukset ovat hyvä esimerkki ratkaisuista, jotka voidaan ottaa käyttöön matalalla kynnyksellä kuten ResQ Club -appi ruokahävikin vähentämiseksi ja selvittää sen käyttömahdollisuutta kouluissa ja ruokaloissa. Matkailijoille voi tiedottaa Canit ja Bower-sovelluksista ja tuoda esiin lajittelun (myös rahallisia) hyötyjä.

Laajempi, suurempia resursseja vaativa kokonaisuus Kuusamossa voisi olla yhdyskuntajätteen erilliskeräyksen ja jäteaseman toimintojen tehostaminen ja kehittäminen. Tällä hetkellä Kuusamon jäteasema on auki vain arkisin toimisto-aikaan: jäteaseman toimintojen automatisointi ja itsepalvelun kehittäminen voisi palvella alueen asukkaita ja jäteaseman käyttäjiä paremmin sekä nostaa materiaalivirtojen määrää.

Astetta kevyempi toteutus olisi biojätteen ja ruokahävikin määrän seuraaminen kouluissa ja julkisissa laitoksissa pinnanmittausantureiden ja pilvipalvelun avulla.

Lähteet:

- 1 ETC/WMGE Report 4/2020: Digital waste management <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/digital-waste-management>
- 2 <https://getbower.com/fi/>
- 3 <https://www.deepwaste.ai/>
- 4 <https://www.canit-app.com/fi/mika-canit>
- 5 <https://media.tori.fi/tori/>
- 6 https://www.pty.fi/wp-content/uploads/2023/01/PTY_Ruokahavikki-kaupan-sektorilla-Suomessa_Luke_2022.pdf
- 7 <https://www.fiksuruoka.fi/page/46/tietoa-ruokahavikista>
- 8 <https://www.lt.fi/fi/raksanappi>
- 9 <https://cyrkl.com/> , <https://www.waste-outlet.com/about-us/> , <https://aspimes.com/>
- 10 <https://www.materiaalitori.fi/tietoa-palvelusta>
- 11 Hankimo Katja (2023): Materiaalitorin kehittäminen, HAMK Tieto- ja viestintätekniikka, biotalouden koulutus opinnäytetyö.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/794816/Hankimo_Katja.pdf?sequence=2
- 11
https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163978/YM_2022_13.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 13 Ukkonen, Aino & Sahimaa Olli (2021): Weight-based pay-as-you-throw pricing model: Encouraging sorting in households through waste fees, Waste Management Volume 135, p 372–380.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21005006?via%3Dihub>
- 14 <https://businessstampere.com/fi/kiertotre-hankkeen-haastekilpailu/>
- 15 <https://www.finbin.fi/en/smart-bins/37-smart-bin-citysolar>
- 16 <https://www.lockwaste.com/>
- 17 <https://ecocontrolgsm.it/en/teca-eng/>
- 18 <https://bine.world/>
- 19 <https://www.re-learn.eu/nando/>
- 20 <https://wastehero.io/solutions/>
- 21 <https://www.etappi.com/palvelut/jatteiden-vastaanottoaikat/re-piste/>

- 22 <https://www.puhas.fi/asiointi/lataa-ilmainen-puhas-mobiiliapp.html>
- 23 <https://www.vestia.fi/lajittelupihalla-asiointi/>
- 24 <https://www.kierratys.info/tietoa-sivustosta>
- 25 https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1653912943.pdf
- 26 <https://carrot.tech/articles/rewarding-households-for-sorting-efforts>
- 27 <https://www.pwc.com/m1/en/publications/documents/how-digital-twins-can-make-smart-cities-better.pdf>
- 28 <https://www.sitowise.com/fi/uutiset/digitaaliset-kaksoset-avaavat-uuden-maailman-kaupunkisuunnitteluun>
- 29 <https://tamperetestbed.fi/testialue/>
- 30 <https://ts2.space/en/digital-twins-and-the-future-of-waste-management/>